

CLIPPEDIMAGE= JP403208887A
PAT-NO: JP403208887A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 03208887 A
TITLE: MOLECULAR BEAM EPITAXIAL GROWTH METHOD

PUBN-DATE: September 12, 1991

INVENTOR-INFORMATION:

NAME
KUBO, MINORU
NARISAWA, TADASHI

ASSIGNEE-INFORMATION:

| NAME | COUNTRY |
|--------------------------------|---------|
| MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD | N/A |

APPL-NO: JP02004851

APPL-DATE: January 12, 1990

INT-CL_(IPC): C30B023/08; H01L021/203

US-CL-CURRENT: 117/108,117/953

ABSTRACT:

PURPOSE: To allow the epitaxial growth having the flatness of a 1-atom layer by irradiating the surface of a substrate under crystal growth with an ion beam to supply kinetic energy to the atoms supplied and adsorbed on the substrate surface by a molecular beam.

CONSTITUTION: The atoms 4 supplied by the molecular beam 3 arrive at the surface of the substrate 5 and diffuse into the surface of the substrate 5 in the range of the kinetic energy possessed by the atoms. The atoms 4 which are raw materials cannot settle in the suitable disposition on the surface of the substrate 5 and stop in inadequate places to generate crystal defects if the kinetic energy is insufficient. The ions for surface bombardment collide against the atoms 4 adsorbed on the surface of the substrate 5 and the atoms 4 obtain the kinetic energy if this part is irradiated with the ion beam 11 for surface atom bombardment simultaneously (or alternately) with the epitaxial

growth by the irradiation with the molecular beam 3. The diffusion speed of the atoms 4 on the surface of the substrate 5 is thereby increased and the surface diffusion is accelerated. The uniform directivity is imparted to the kinetic energy applied on the atoms 4 on the surface by the incident angle on the surface of the substrate 5 by using such ion beam 11.

COPYRIGHT: (C)1991, JPO&Japio

⑫ 公開特許公報 (A) 平3-208887

⑬ Int. Cl. 5

C 30 B 23/08
H 01 L 21/203

識別記号

府内整理番号

M 7158-4C
M 7630-5F

⑭ 公開 平成3年(1991)9月12日

審査請求 未請求 請求項の数 3 (全9頁)

⑮ 発明の名称 分子線エピタキシャル成長方法

⑯ 特 願 平2-4851

⑯ 出 願 平2(1990)1月12日

⑰ 発明者 久保 実 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内
 ⑰ 発明者 成沢 忠 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内
 ⑰ 出願人 松下電器産業株式会社 大阪府門真市大字門真1006番地
 ⑰ 代理人 弁理士 宮井 喜夫

明細書

1. 発明の名称

分子線エピタキシャル成長方法

2. 特許請求の範囲

(1) 超高真空中の分子線エピタキシャル成長において、

結晶成長中の基板表面に表面原子衝撃用イオンビームを照射し、分子線により前記基板表面に供給した吸着原子に運動エネルギーを与えることにより、前記吸着原子の前記基板表面での拡散速度を大きくしてエピタキシャル成長を行うことを特徴とするイオン衝撃による分子線エピタキシャル成長方法。

(2) 超高真空中の分子線エピタキシャル成長において、

結晶成長中の基板表面の原子の種類および表面構造を1原子層単位で評価するための表面構造評価用イオンビームを前記基板表面に照射する工程と、

前記表面構造評価用イオンビームと同種もしく

は異種のイオンからなる表面原子衝撃用イオンビームを前記基板表面に同時に照射し、分子線により前記基板表面に供給した吸着原子に運動エネルギーを与えることにより、前記吸着原子の前記基板表面での拡散速度を大きくしてエピタキシャル成長を行う工程とを含むことを特徴とするイオン衝撃による分子線エピタキシャル成長方法。

(3) 請求項4記載のイオン衝撃による分子線エピタキシャル成長方法において、

エピタキシャル成長を行うための分子線の供給を任意の時間周期でパルス状に行う第1の工程と、基板表面に供給した吸着原子に運動エネルギーを前記パルス状の分子線と同期してパルス状に与えることにより、前記吸着原子の前記基板表面での拡散速度を大きくするための表面原子衝撃用イオンビームを照射する第2の工程と、前記パルス状の表面原子衝撃用イオンビームもしくは分子線のつなぎの供給までの間の時間に、結晶成長中の前記基板表面の原子の種類および表面構造を1原子層単位で評価するための表面構造評価用イオンビーム

を照射する第3の工程との各工程、もしくは前記第1および第2の各工程を周期状に繰り返しながら、エピタキシャル成長を行うことを、微とするイオン衝撃による分子線エピタキシャル成長方法。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

この発明は、原子層制御を要する結晶成長、特に化合物半導体等のエピタキシャル成長に適したイオン衝撃による分子線エピタキシャル成長方法に関するものである。

(従来の技術)

従来の技術を、第8図の分子線エピタキシャル成長 (Molecular Beam Epitaxy, 以降MBEと略する) に、高速反射電子線回折 (Reflection of High Energy Electron Diffraction, 以降RHEEDと略する) を設けたものを例にとって説明する。

MBE成長では、超高真空槽1中で、單一もしくは複数個のクスンセン・セル (以降Kセルと略する) 2から分子線3として供給される元素4が

基板5上でエピタキシャル成長していく。例えば、GaAs/AlGaAsの化合物半導体では、Ga, AsおよびAlのKセル2を300~700度の範囲の温度でシャック6の開閉により交互に分子線3として供給し、エピタキシャル成長を行う。このとき、その成長の過程をRHEEDで評価する。

RHEEDは、電子線源7から10~40KVの高速の電子を結晶成長中の基板5に入射させる。入射電子8は、基板5の表面の情報を反映して散乱される。その散乱電子9を蛍光塗料を塗ってあるスクリーン10で受けると、基板5の表面の情報を反映した電子線回折像として得られる。この電子線回折像は、基板5の表面の特に凹凸に敏感であり、その代表的なスポットの強度だけに注目しても、明確な表面の様子を知ることができる。

第9図に、表面の成長の様子により、電子線回折像の代表的なスポットの強度が変化する様子を示す。第9図(a)はRHEEDのスポット強度の時間変化を示し、同図(b), (c), (d)は同図(a)のb点、c点およびd点の各位置に対応する基板5の表面

状態の概略図を示している。5aは成長層である。

RHEEDのスポット強度は、結晶成長の進行とともに、強度が振動する。この振動の周期は、基板5の表面のエピタキシャル膜が1ないし2原子層ずつ増加していく速さに対応している。すなわち、結晶表面から反射される電子線の強度は、表面が平坦なときに強くなるが、層成長の場合には、結晶面が1層成長する毎に平坦性が繰り返されるため、RHEEDのスポット強度の振動となって観測される。

このような手法を用いることにより、結晶成長中に同時にその様子を観測しながら、制御することが可能である。このような手法を用いながら行うMBE成長では、基板表面の平坦性を観察しながら成長を行えるが、平坦性の制御を積極的に行うことはできない。

一方、1原子層サイズの平坦性を実現しようとする場合、これまででは、基板表面に供給された原子に対して、外部からエネルギーを与えて表面での拡散を促進し、つぎの供給原子が基板表面に到達

する前に表面に一様に配列し原子層サイズで平坦化するものであった。この外部からのエネルギー供給方法は、基板の加熱が最もよく用いられてきた。また最近では、レーザのような光を照射する方法や、供給する分子線をパルス状にして、分子線による構成原子の供給後、表面での供給原子の十分な拡散を行える時間をおいて、その後にさらに分子線を照射するというように、繰り返して成長を行う方法も用いられている。

このような従来からの手法によれば、基板の種類によらず、ある程度の温度が必要となり、熱損傷等の悪影響が問題となる。

(発明が解決しようとする課題)

従来の技術の項で示したように、MBE成長において、供給原子の基板表面での拡散を促進するには、これまでの成長方法では、基板加熱や光照射等の手法が用いられてきた。

基板加熱による方法を用いる場合、直接的にしろ間接的にしろ、ある程度の温度までの加熱が必要となってくる訳であるが、その際の熱の影響は

避けられないものがある。板の熱損傷、熱により発生した不純物による汚染、装置の劣化等々様々である。また、特に化合物半導体等では、熱に対して非常に不安定なものでは、根本的に使用できないものである。

一方、間接的な手法として、光照射による手法があるが、この場合、基板表面の吸着原子に直接運動エネルギーもしくは運動量を与えているわけではない。すなわち、原子もしくは分子線からの分子の内部エネルギーの励起状態を経て、間接的に吸着原子に表面拡散に必要なエネルギーを供給している。したがって、このような過程によって発生する問題点、例えば不必要な元素のイオン化等による不純物原子の取り込みや、欠陥等の発生が生じる。また、光照射による方法では、吸着原子に与えるエネルギーに、方向性を与えることができない。

この発明の目的は、基板の損傷、不純物による汚染、装置の劣化、不純物原子の取り込み、欠陥の発生等の問題を生じることなく、吸着原子に与える運動エネルギーに方向性をもたせて、1原子層

の大きさの平坦性を有するエピタキシャル成長を実現することができる分子線エピタキシャル成長方法を提供することである。

(課題を解決するための手段)

請求項①記載の発明のイオン衝撃による分子線エピタキシャル成長方法は、結晶成長中の基板表面に表面原子衝撃用イオンビームを照射して基板表面の吸着原子に運動エネルギーを与えることにより、吸着原子の基板表面での拡散速度を大きくしながらエピタキシャル成長を行う。

また、請求項②記載の発明のイオン衝撃による分子線エピタキシャル成長方法は、表面構造評価用イオンビームとこの表面構造評価用イオンビームと同種もしくは異種のイオンからなる表面原子衝撃用イオンビームとを結晶成長中の基板表面に同時に照射し、基板表面の原子の種類および表面構造を1原子単位で測定するとともに、基板に供給した吸着原子に運動エネルギーを与えることにより吸着原子の基板表面での拡散速度を大きくしながらエピタキシャル成長を行う。

請求項③記載の発明のイオン衝撃による分子線エピタキシャル成長方法は、分子線もしくは表面原子衝撃用イオンビームと表面構造評価用イオンビームとを交互に基板表面に照射することにより、基板表面の原子の種類および表面構造の1原子単位の測定と、基板に供給した吸着原子に運動エネルギーを与えることにより吸着原子の基板表面での拡散速度を大きくしながら行うエピタキシャル成長とを交互に行う。

(作用)

請求項①記載の発明の構成によれば、結晶成長中に成長と同時にあるいは交互に、表面原子衝撃用イオンビームを基板表面に照射して基板表面の吸着原子に運動エネルギーを与えることにより、吸着原子の基板表面での拡散を促進させながら、エピタキシャル成長を行うので、1原子層サイズの平坦性を制御したエピタキシャル成長が可能となる。

また、請求項②または請求項③記載の発明のイオン衝撃による分子線エピタキシャル成長方法に

よれば、表面原子衝撃用イオンビームと表面構造評価用イオンビームとを同時にもしくは交互に照射しながら、成長と評価を同時にまたは交互に行うことが可能で、制御性を向上させることが可能である。イオン衝撃による表面構造評価では、散乱されてくるイオンのエネルギー分析を行い、衝突した原子の種類および表面構造を評価することが可能である。また、入射イオンの入射角度を任意に選択することにより、表面原子の表面拡散に方向性を持たせることができる。さらに、散乱されるイオンの角度依存性を測定することにより、詳細な表面の原子の構造をも観測することが可能となる。

(実施例)

この発明の一実施例を図面に従って説明する。

第1図にこの発明の実施例のイオン衝撃による分子線エピタキシャル成長方法における基板表面での反応過程を示す。第1図において、基板5の表面に分子線3により供給された原子4が到達し、その所有する運動エネルギーの範囲で基板5の表面

を拡散していく。運動エネルギーが不足していると、原料となる原子4は基板5の表面の適当な配置（サイト）に落ち着くことができず、不適当な場所に停止し、結晶欠陥等を生じる。そこに、分子線3の照射によるエピタキシャル成長と同時に（交互でもよい）、表面原子衝撃用イオンビーム11を照射すると、表面衝撃用イオンが基板5の表面に吸着した原子4と衝突し、原子4が運動エネルギーを得ることにより、原子4の基板5の表面での拡散速度が大きくなつて表面拡散が促進される。

この運動エネルギーの吸放出の過程は、第2図に示した過程により、散乱イオン（表面原子衝撃用イオン）と標的原子（原子4）の運動エネルギーを第(1)式および第(2)式で示すことができる。質量M₁の入射イオン（表面原子衝撃用イオン）がE₀のエネルギーをもつて質量M₂の標的原子に衝突したとき、質量M₁の散乱イオンはE₁の運動エネルギーを、また質量M₂の標的原子はE₂の運動エネルギーを有するようになる。θ, φはそれぞれ入射

る範囲を選択する。すなわち、表面原子衝撃用イオンの種類としては、主として、比較的軽い水素イオンやヘリウムイオンを用い、加速エネルギーとしては、スパッタリングやノックオンが無視できる程度で、かつ表面原子衝撃用イオンの基板5内への侵入深さが数原子層程度と比較的浅い、1Kev程度以下の加速エネルギーを用いる。

このような条件の表面原子衝撃用イオンビーム11を用いる場合、基板5の表面への入射角により、表面の原子4に与える運動エネルギーに様々な方向性を与えることが可能である。第1図において、基板5の表面には図中左側から1原子層サイズのステップ12が形成されている。このようなステップ12は、基板5の面方位や表面状態に依存したものであるが、エピタキシャル成長初期過程においては、これらが核となって成長が始まる場合がある。したがって、ステップ12の段差の壁に原子4が集まり、配列して平坦な成長が行われるわけであるが、十分な運動エネルギーを所有していない原子4は、途中で3次元的に島状の成長

イオンの方向を基準にした散乱イオンおよび標的原子の運動方向を示す角度である。

$$E_1 = E_0 \cdot \left(\frac{(M_2^2 - M_1^2 \sin^2 \theta)^{1/2} + M_1 \cos \theta}{M_2 + M_1} \right) \quad \dots \dots (1)$$

ただし、M₂ > M₁

$$E_2 = E_0 - E_1$$

$$= E_0 \cdot \frac{4 M_1 \cdot M_2}{(M_1 + M_2)^2} \cos^2 \theta \quad \dots \dots (2)$$

ただし、0 < θ / 2

ここで、運動エネルギーE₁が過剰であると、原子4は基板5の表面から離脱、蒸発してしまい、エピタキシャル成長ができなくなる。また、表面原子衝撃用イオンビーム11を照射すると、スパッタリングやノックオン等の現象が起こり、その結果、表面に損傷を与えることもある。これらの現象は、イオンの種類、質量、エネルギー、あるいは基板の種類によって異なる程度生じる。

この実施例では、これらの損傷効果が許容でき

を始めてしまう。そこに、イオン衝撃により表面拡散の運動エネルギーを供給するわけであるが、図中左側のステップ12の段差の壁に向けて原子4が拡散させるのが最も効率的である。したがって、第1図に示したように、入射イオン（表面原子衝撃用イオン）の入射角は、図中右側からが望ましい。

このような構成によれば、この角度を自由に選択することが可能であり、より高効率で平坦性に優れたエピタキシャル成長が可能となる。また、基板5に任意の微細構造を形成し、前述のような任意の方向からのイオン衝撃による選択成長も可能となるものである。

このようなイオン衝撃による成長において、特に化合物半導体のエピタキシャル成長の原子層単位での制御では、原子4の供給をパルス状の分子線3により行い、制御性を上げることが可能である。

第3図に供給分子線3、表面原子衝撃用衝撃用イオンビーム13および表面構造評価用イオンビ

ーム14の供給時間タイミングを示し、(a)は分子線パルス、(b)は表面原子衝撃用イオンビームパルス、(c)は表面構造評価用イオンビームパルスである。

第4図に第3図に対応した基板表面の様子を示し、(a)は分子線3の照射時の状態を、(b)は表面原子衝撃用イオンビーム13の照射時の状態を、(c)は表面構造評価用イオンビーム14の照射時の状態をそれぞれ示している。この場合、第3図(a)の分子線パルスと同図(b)の表面原子衝撃用イオンビームパルスと同図(c)の表面構造評価用イオンビームとは時分割で発生し、それらの強度は、分子線パルスが一番強く、つぎが表面原子衝撃用イオンビームパルスで、一番弱いのが表面構造評価用イオンビームパルスである。

第3図(a)の分子線パルスのタイミングで照射される分子線3は基板5の表面に原料となる原子4を供給するものであり、第4図(b)に示すように、基板5の表面では原子4が適切もしくは不適切な場所に配置している。

以下に、エピタキシャル成長の具体的実施例を示す。

InP(100)基板にMBE装置でAs分子線を照射しながら400℃にてInP(100)基板の表面洗浄を行う。

つぎに、InおよびAsの分子線(各Kセルの温度はそれぞれ900℃、300℃)とAl(Kセルの温度は1000℃)およびAsの分子線とを5秒間隔で3秒ずつ交互に照射する。この5秒間は、表面に供給されたInAsとAlAsを表面に均一に拡散するために、1KeVの入射エネルギーのHeイオンを照射する。InAsとAlAsの各層はほぼ1分子層ずつ均一性よく成長し、InP基板上へInAs/AlAsの超格子を均一性よく作成できる。

第5図にMBE装置16Aに表面原子衝撃用および表面構造評価用イオン供給源を組み込んだ装置の全体図を示す。イオン供給源は、低エネルギーイオン散乱(Low Energy Ion Scattering: 以下、LEISと略す)装置16Bを構成してい

る。そこに、第3図(b)の表面原子衝撃用イオンビームパルスのタイミングで表面原子衝撃用イオンビーム13を照射する。イオンビーム13は供給分子線3等と交差することはないので、第4図(b)に示すように、表面に吸着した原子4のみに運動エネルギーを与える。イオン衝撃によりエネルギーを得た表面の原子4は、基板5の表面での拡散速度が大きくなって基板5の表面での拡散が促進され、適切な配置に再配列される。

さらに、第3図(c)および第4図(c)に示すように、表面構造評価用イオンビーム14を照射して、散乱イオン15のエネルギー分析を行うことで表面構造の分析、評価を行い、不十分であれば、供給分子線3もしくは表面原子衝撃用衝撃用イオンビーム13にフィードバックし、良好な状態になるよう、原子4を補給したり、表面の原子4の拡散をさらに促進させる。

このような工程の繰り返しにより、原子層単位での平坦性の制御を行ったエピタキシャル成長が実現できるものである。

るものである。

MBE装置16Aは、超高真空槽1中にKセル2、基板5を有し、結晶成長に必要な構成元素を分子線3として基板5の表面に供給するものである。成長のための条件としては、成長するものにより異なり、特にKセル2の温度は、元素の種類による蒸気圧と所望の結晶に必要な供給量を考慮し、さらに基板温度等も踏まえた上で決定する必要がある。

イオン供給源は、表面構造評価用LEISと表面原子衝撃用が兼用となっているものの例である。表面構造評価用イオン(表面原子衝撃用を兼ねる)としてヘリウム(He)イオンを用いる場合、ヘリウムイオン源17でヘリウム原子がイオン化されイオンビーム18として出射される。その後、イオンの進行方向を調整する2組の偏光板19、集光のための静電レンズ20を通過する。偏光板19および静電レンズ20には、各々直達電圧が印加されており、加速エネルギー等によって電圧を調整し、イオンビーム18の最適化を行う。イオ

ンビーム 18 はさらに、パルス電圧が印加される偏向板 19 により、スリット 21 上を走査され、スリット 21 を通過したときだけのパルス状イオンビーム 22 となる。パルス状イオンビーム 22 は、真ん中に穴の開いた検出器 23 の穴を通過して基板 5 の表面に衝突する。衝突したイオンは、表面の原子の種類、主に原子の質量に依存した速度で散乱イオンとなって散乱される。そのなかで、入射方向に対して 180 度、すなわち後方に散乱するイオンだけが、検出器 23 に到達する。イオンビーム 22 はパルス状であるので、一定の飛程 24 を走行したイオンは、速度が異なると、パルス状イオンビーム 22 がくるまでに、検出器 23 に到達し、検出されるイオンの走行時間を測定すれば、散乱されてくるイオンのエネルギー分析が可能となる。

41 はコンピュータ、42 はトリガ、43 はタイム・デジタルコンバータ、44 はゲート・選延信号発生器、45 はパルス発生器、46 は高電圧

電源、47 は静電レンズ・偏向板用電源である。

第 6 図に前記手法を用い、2 KeV の加速電圧で測定した InP 基板表面の LEIS のスペクトルの測定例を示す。横軸が走行時間で散乱されてくるイオンの運動エネルギーに、縦軸が散乱されてくるイオンの数に相当する。ここで観測される 2 つのピーク 25, 26 は、表面近傍のインジウム (In) 原子と、磷 (P) 原子に衝突して散乱されてくるイオンを示している。このような測定を、実際に MBE 成長をさせながら行うことにより、InP の場合を例とするならば、基板の成長表面の構成原子の種類を散乱イオンの時間差で、量を強度で、同時に観測することができる。また、基板の角度を変化させて、入射角度分布を測定することにより、表面構造を観測することが可能となる。これは、第 7 図のように、表面近傍を形成している第 1 原子層 27, 第 2 原子層 28 もしくはそれ以降の原子層において、入射イオン 29 に対する衝突断面積 30 のため、表面の第 1 原子層 27 の影によるシャドーコーン 31 が第 2 原子層

28 以降に広がり、入射角度によっては、第 2 原子層 28 以降は、第 2 図のような LEIS スペクトルにピークとして観測されず、第 1 原子層 27 のピークのみの場合がある。このようにして、基板 5 の角度を変化させ、LEIS スペクトルの入射角度依存性を測定することにより、表面もしくは表面から数原子層までの構成原子の構造を観測することが可能である。また、前述の散乱イオンのピーク強度と合わせて、表面の構成原子 4 の被覆率をも知ることが可能である。

イオン衝撃用としても上記のパルス状のイオンビームを使用する場合は、表面構造評価用イオンビームもしくは前述の成長用パルス分子線と同期をとるが、イオン衝撃用としてのみ用いるときは、偏向板に電圧を印加せずに用いる。入射角については、基板 5 を回転させるか、もしくはイオンビームラインを回転させて、入射角を偏角する。

このような装置を用いることにより、イオン衝撃によるエピタキシャル成長は、基板 5 の表面の原子 4 の表面拡散を促進し、原子層サイズの平坦

性を有する成長制御を実現することができる。この結果、従来例のように熱や光によって表面の平坦化を実現するのではないので、基板の損傷、不純物による汚染、装置の劣化、不純物原子の取り込み、欠陥の発生等の問題を生じることなく、吸着原子に与える運動エネルギーに方向性をもたせて、1 原子層の大きさの平坦性を有するエピタキシャル成長を実現することができる。

〔発明の効果〕

請求項 11 記載の発明のイオン衝撃による分子線エピタキシャル成長方法によれば、結晶成長中に表面原子衝撃用イオンビームを成長表面に照射し、基板表面の吸着原子に運動エネルギーを与え、表面での拡散を促進させながら、1 原子層サイズの平坦性を制御したエピタキシャル成長を可能とすることができ、熱や光によって表面の平坦化を実現するのではないので、基板の損傷、不純物による汚染、装置の劣化、不純物原子の取り込み、欠陥の発生等の問題を生じることなく、吸着原子に与える運動エネルギーに方向性をもたせて、1 原子層

の大きさの平坦性を有するエピタキシャル成長を実現することができる。

請求項(2)または請求項(4)記載の発明のイオン衝撃による分子線エピタキシャル成長方法によれば、表面原子衝撃用イオンビームと表面構造評価用イオンビームとを同時もしくは交互に照射することにより、成長と評価を同時または交互に行うこと可能となり、制御性を向上させることが可能である。イオン衝撃による表面構造評価では、散乱されてくるイオンのエネルギー分析を行い、衝突した原子の種類および表面構造を評価することが可能である。また、入射イオンの入射角度を任意に選択することにより、表面原子の表面拡散に方向性を持たせることができる。さらに、散乱されるイオンの角度依存性を測定することにより、詳細な表面の原子の構造をも観測することが可能となる。

4. 図面の簡単な説明

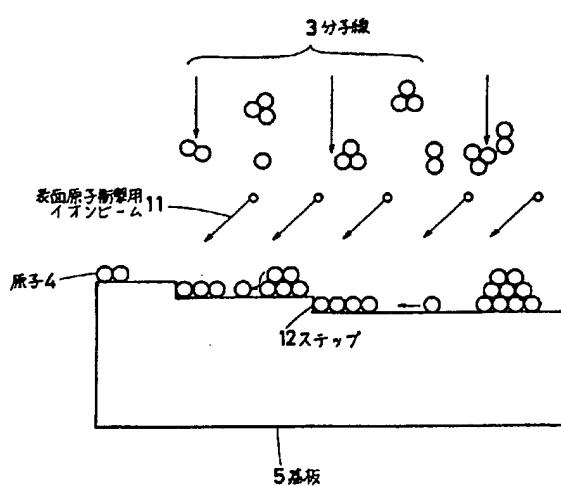
第1図、第2図、第3図および第4図はこの発明の一実施例の分子線エピタキシャル成長方法の

原理を示す図、第5図はこの発明の実施例において用いる装置の概要図、第6図は評価結果を示す図、第7図は評価の原理を示す図、第8図および第9図は従来例を示す図である。

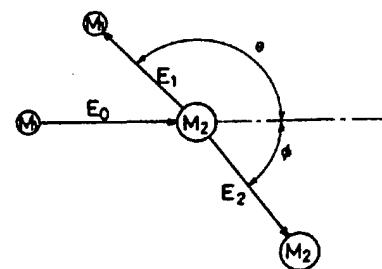
3…分子線、4…原子、5…基板、11…表面原子衝撃用イオンビーム、13…表面原子衝撃用イオンビーム、14…表面構造評価用イオンビーム、15…散乱イオン

特許出願人 松下電器産業株式会社
代理人 弁理士 宮井英夫
E-mail: miyoshi@panasonic.com

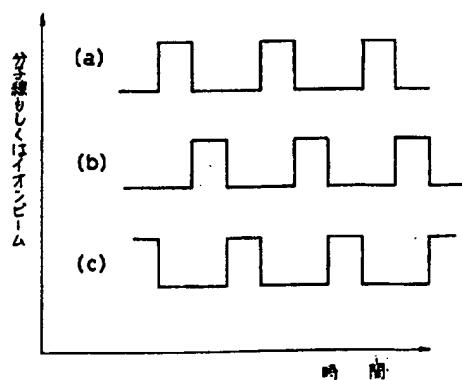
第1図



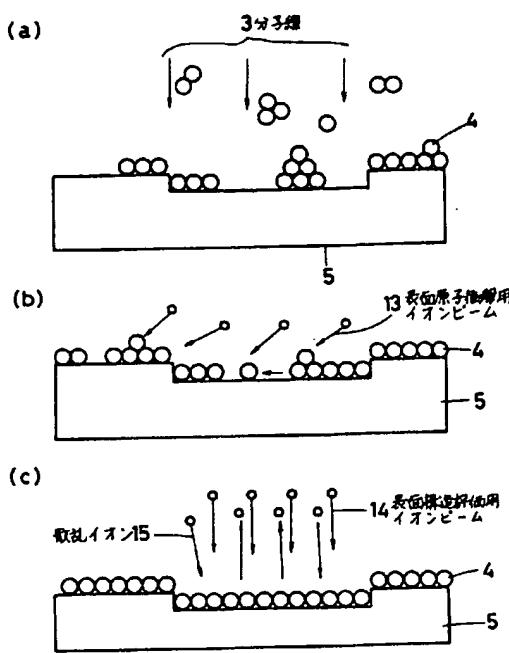
第2図



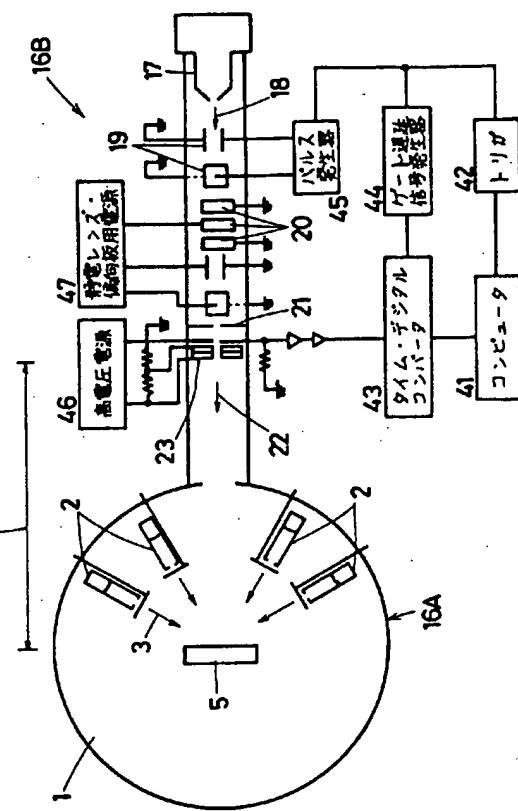
第3図



第 4 図



四
五
集



四
6
第

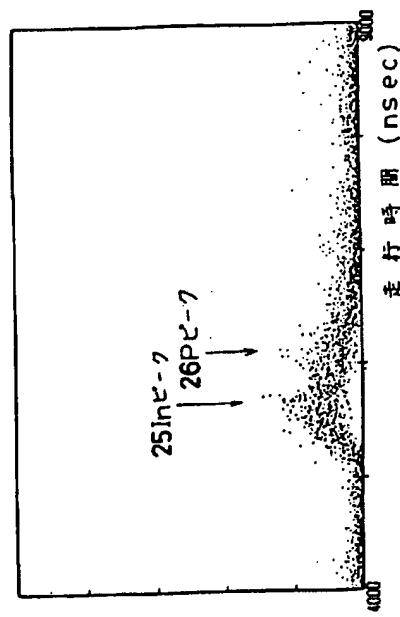
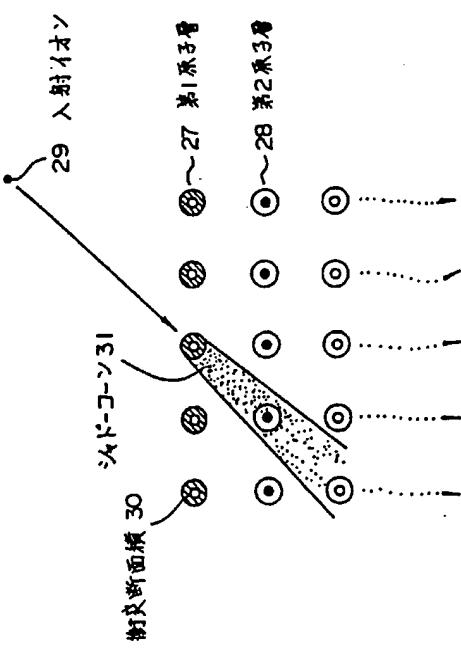
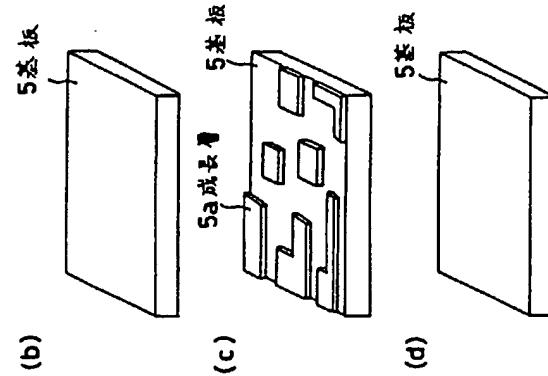
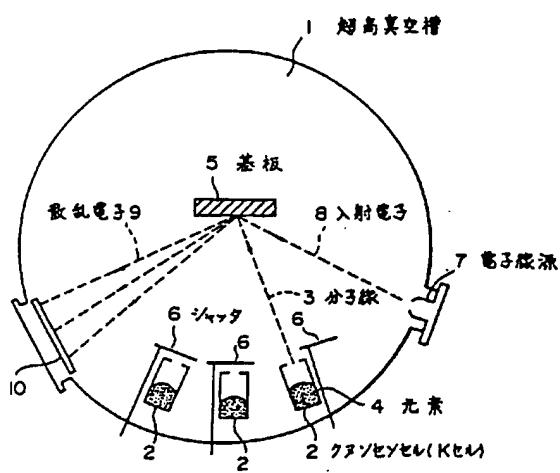


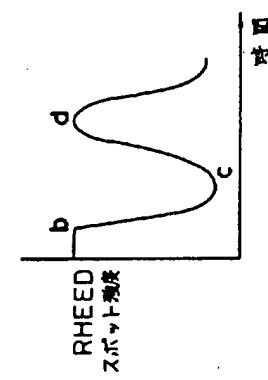
圖 7



第8図



第9図



(a)